

# Inventarisatie biomassagewassen voor project Energieboerderij

Ing. H.J. van der Mheen

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Opdrachtgever:



Projectnummer: 3250034800

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR  
Business Unit Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en  
Vollegrondsgroenten

Adres : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad  
Tel. : +31 320 29 11 11  
Fax : +31 320 23 04 79  
E-mail : [info.agv.ppo@wur.nl](mailto:info.agv.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

1	INLEIDING .....	5
2	BEGRIJSOMSCHRIJVING 'BIOMASSAGEWASSEN' .....	7
3	GEWASBESCHRIJVINGEN .....	9
3.1	Bekende gewassen.....	9
3.2	Voor Nederland 'nieuwe' biomassagewassen.....	10
3.2.1	Pennycress ( <i>Thlapsi arvense</i> / Witte krodde).....	10
3.2.2	Switchgrass ( <i>Panicum virgatum</i> L / Prairiegras) .....	10
3.2.3	Big Bluestem ( <i>Andropogon gerardii</i> / Baardgras).....	11
3.2.4	Reed Canary Grass ( <i>Phalaris arundinacea</i> / RCG) .....	11
3.2.5	Igniscum (Japans knoopkruid) .....	11
3.2.6	Durchwachsende Silphie ( <i>Silphium perfoliatum</i> ) .....	12
3.2.7	Russische paardenbloem ( <i>Taraxacum T.kok-saghyz</i> ).....	12
3.2.8	Russische Smeerwortel ( <i>Symphytum peregrinum</i> ) .....	12
3.2.9	Ridderzuring ( <i>Rumex acetosa</i> ).....	13
3.2.10	Milkweed ( <i>Asclepias syriaca</i> ).....	13
3.2.11	Mariadistel ( <i>Sylibum marianum</i> ).....	14
3.2.12	Afrikaantjes ( <i>Tagetes</i> spp.) .....	14
3.2.13	Samenvattende tabel .....	14
4	OVERWEGINGEN BIJ DE GEWASKEUZE VOOR EEN DEMOTEELT .....	17
5	SUGGESTIE VOOR DE GEWASKEUZE.....	19
6	LITERATUUR.....	21



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Deze rapportage is onderdeel van het project Energieboerderij. Het project Energieboerderij heeft als doel om de duurzaamheid van in Nederland geproduceerde biomassa inzichtelijk te maken en te verbeteren. In plaats van het rekenen met gegevens uit de literatuur worden op praktijkbedrijven gegevens verzameld en geanalyseerd. Deze informatie vormt de basis voor het berekenen van duurzaamheidskengetallen en het optimaliseren van energieteelten.

Achtergrond van het project is de discussie over de oplossingsrichtingen voor het energievraagstuk en de bijdrage die hernieuwbare grondstoffen (in het bijzonder energieteelten) daaraan kunnen leveren. De initiatiefnemers van Energieboerderij hanteren als uitgangspunt dat de energieteelt dient te voldoen aan de duurzaamheidscriteria zoals vastgelegd in de EU richtlijn voor energie uit hernieuwbare grondstoffen (RED). Ook de regionale impact van meer energieteelten dient inzichtelijk te zijn. Uitgangspunt daarbij is dat alle berekeningen en resultaten eenduidig en transparant zijn voor alle betrokkenen en geïnteresseerden.

Er is in Energieboerderij gewerkt met een drietal in de praktijk functionerende ketens. De ketens dienen als basis voor de verzameling van bruikbare praktijkcijfers. Het betreft de volgende ketens:

1. Maïsteelt – vergisting - elektriciteit
2. Suikerbietenteelt – vergisting – elektriciteit
3. Koolzaad - PPO/biodiesel

Per keten is een groep ondernemers betrokken waar een van de bovengenoemde gewassen is geteeld. In de keten zijn teelt en verwerking gevolgd (registratie) en de benodigde metingen uitgevoerd. Met deze gegevens is over een periode van 4 jaar de duurzaamheid van het energiegewas voor de totale keten bepaald.

Daarnaast zijn van elk gewas jaarlijks proefvelden en zogenaamde 'best practice' demo's aangelegd waarin teeltvarianten zijn vergeleken en de invloed op de duurzaamheid is bepaald. De verzamelde praktijkcijfers en de cijfers van de proefvelden en de demo's zijn met de verschillende telersgroepen besproken, met als doel vast te stellen waar de verbeterpunten liggen.

De duurzaamheid is bepaald met een, in het project ontwikkelde, meetlat voor energie-efficiency en broeikasgasemissiereductie.

Energieboerderij is een initiatief van Vereniging Innovatief Platteland. De uitvoering is in handen van Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (Wageningen UR), IRS en Cultus Agro advies.

Het project wordt mogelijk gemaakt door de volgende organisaties: Ministerie van EL&I, Wageningen UR, provincie Limburg, LLTB, Productschap Akkerbouw, Cosun en IRS, Argos Oil, Attero, Carnola, Vitelia, HAS Kennistransfer en OCI-Nitrogen.

## 1.2 Nieuwe biomassagewassen.

In het kader van het project Energieboerderij Vredepeel moet (naast energiemais en suikerbieten) de potentie van een aantal 'nieuwe' biomassagewassen in kaart worden gebracht. In 2010 heeft stagiair Tim van Summeren een eerste inventarisatie uitgevoerd. Van een aantal mogelijke gewassen is op de valreep van het seizoen zaaizaad besteld, maar daadwerkelijk is op Proefboerderij Vredepeel in 2010 alleen een rassenvergelijking met dedert (huttentut) uitgevoerd.

In 2011, het laatste loopjaar van het Energieboerderij project, ligt de vraag naar een inventarisatie en mogelijke veldproef met 'nieuwe' biomassagewassen voor. De voorkeur zou daarbij gegeven moeten worden aan gewassen waarvan de biomassa meerdere toepassingsmogelijkheden kent. Vanuit het

'cascaderings-idee' kunnen na winning van hoogwaardige componenten (zoals olie en/of specifieke inhoudstoffen) de reststromen hun weg vinden naar laagwaardiger toepassingen (zoals vergisting, ethanolwinning of verbranding).

De vanuit de werkgroep gesuggereerde lijst met potentiële gewassen is (door de verbreding van het biomassabegrip) erg divers geworden, waarbij enkele gewassen (zoals mariadistel, melkdistel, Tagetes en paardenbloem) voornamelijk gekozen zijn vanuit de gedachte dat er 'hoogwaardige' componenten uit te winnen zijn.

Om tot een keuze te komen van gewassen die zich lenen voor toetsing in een velddemo worden in deze, voornamelijk op literatuur gebaseerde studie, de belangrijkste teeltaspecten en de potentiële toepassingen van de gewassen behandeld.

## 2 Begripsomschrijving 'Biomassagewassen'

Bij biomassagewassen wordt primair gedacht aan gewassen met een hoge (drogestof!) opbrengst waarvan de gewasmassa zich leent voor:

1. Vergisting (c.q. biogas/methaangas-)productie.
2. Wining van biobrandstof als PPO/biodiesel uit de vette oliën, of ethanol uit suikers/zetmeel.
3. Wining van (2-de generatie) biobrandstof als methanol/ethanol uit cellulose.
4. Directe verbranding als vaste (gepelletiseerde) drogestof voor warmtewinning.
5. Gebruik als constructiemateriaal (vezelplaat) of als vezelmateriaal voor (papier)pulp.
6. Gebruik als silage/feed.
7. Zie tekst.

Zo mogelijk wordt uitgegaan van meerdere toepassingswijzen van de betreffende biomassa. Na de winning van (zaad-)olie voor biodiesel (cat. 2) kan de rest van de gewasmassa eventueel vergist worden (cat.1). Als categorie 7 kunnen gewassen genoemd worden waaruit hoogwaardigere inhoudstoffen (bv. specifieke vetzuren uit vette oliën of andere interessante bioactieve componenten) gewonnen kunnen worden en waarvan de reststroom voor ethanolwining of vergisting kan worden ingezet.

Tabel 1 geeft een overzicht aan welke gewassen gedacht zou kunnen worden. Het is een uitgebreid overzicht van de auteur en de stuurgroep Energieboerderij. De gewassen met vetgedrukte namen verdienen, vanuit de stuurgroep Energieboerderij, een voorlopige prioritaire aandacht.

Tabel 1. **Overzicht van potentieel te onderzoeken biomassagewassen en hun mogelijke toepassing.**

	Zaai/ Plant	Biogas/ Vergisting	Biobrand- stof	Cellulose ethanol	Vaste/pellet Brandstof	Vezels/Pulp Constructie	Feed/ Silage	Interessante inhoudsstof
<b>Eenjarig</b>							X	
Energiemaïs	Zaai	X					X	
Energie suikerbiet	Zaai	X	X			X?		
Sorghumgirst (suikergierst)	Zaai	X					X	
Sudangrass	Zaai	X					X	
Koolzaad	Zaai	X	X					X vetzuur/eiwit
Olievlas	Zaai		X			X	X	
<b>Pennycress (witte krodde)</b>	Zaai	X	X					X vetzuur/eiwit
<b>Deder</b>	Zaai	X	X					X vetzuur/eiwit
Hennep	Zaai	X?	X?	X		X vezels		X? evt. vetzuur
<b>Tagetes</b>	Zaai	X						X? evt. luteïne
<b>Mariadistel</b>	Zaai	X						X silimarin
<b>Meerjarig</b>								
Miscanthus	Plant			X	X	X		
Switchgrass (prariegras)	Zaai			X	X		X	
<b>Big Bluestem (baardgras)</b>	Zaai			X	X		X	
<b>Reed Canary Grass</b>	Zaai			X	X	X		
<b>Durchwach- Sende Silphie</b>	Plant	X					X	
Japanese knotweed	Plant				X			
Aardpeer	Plant	X	X				X	X inuline
Russische smeerwortel	Plant	X						
<b>Milkweed</b>	Plant	X				X zaadpluis		X vetzuur?
<b>Russische paardenbloem</b>	Zaai	X					X	X latex, inuline
Ridderzuring	Zaai	X					X	



### 3 Gewasbeschrijvingen

De gewassen zijn onder te verdelen in een- en meerjarige gewassen. Er zitten (naast de eenjarige maïs) een aantal meerjarige grasachtige gewassen bij en een viertal olie(zaad)gewassen. Daarnaast is er een groep gewassen van uiteenlopende aard voor wat betreft plantfamilie en biomassa-toepassing.

Met een aantal van de gewassen (Miscanthus, hennep, aardpeer, suikerbieten, (energie-)maïs, sorghum, koolzaad, olievlas en deder) is in Nederland, in praktijkteelten of onderzoek (o.a. in het project Energiekompas Veenkoloniën en in het project Energieboerderij Vredepeel) al ervaring opgedaan. Van deze min-of-meer bekende gewassen zullen de belangrijkste opbrengst-kentallen in een tabel worden samengevat. Van de andere gewassen zullen, op basis van verzamelde (literatuur)gegevens, per gewas wat achtergronden en de belangrijkste teeltkarakteristieken en potentiële opbrengstgegevens worden beschreven.

#### 3.1 Bekende gewassen

Van de min-of-meer bekende biomassagewassen zijn in tabel 2 de belangrijkste opbrengstgegevens voor wat betreft biomassa drogestof, energie- en eventuele overige interessante inhoudstoffen weergegeven.

Tabel 2. **Overzicht opbrengsten van in Nederland min-of-meer bekende biomassagewassen.**

	Teeltwijze	Biomassa Ds T/ha	Methaan-gasopbr. m <sup>3</sup> /ha	Zaadopbr. kg/ha	Olieopbr. PPO (olie%)	Ethanol-opbr.L/ha	Directe verbr. warmte J/g
Energiemaïs	Zaai Eenj.	21	6900			7000	
Suikerbiet-Knol -Loof	Zaai Eenj.	25 6	8500 1800			5000	
Aardpeer-Knol -Loof	Plant Meerj.	7,5 5	2800 900			2250	
Sorghumgierst (Suikergierst)	Zaai Eenj.	13	3500			9500	
Soedangras	Zaai Eenj.	13,5	3500				
Koolzaad	Zaai Eenj.			3000	1200		
Olievlas	Zaai Eenj.	stro vezels		2500	1000		
Deder	Zaai Eenj.			1800	750		
Hennep	Zaai Eenj.	18 20%vezel	?	?	?		
Miscanthus	Plant Meerj.	20	3900 verse oogst				18100 J/g ~5-8000 L olie/ha

Deze gegevens zijn reële cijfers op basis van PPO onderzoek. De opbrengsten van Soedangras, Sorghumgierst en Miscanthus uit het project 'Energiekompas' komen overeen met opbrengstgegevens vanuit LLFG Bernburg. Er zijn inmiddels verschillende Energiemaïs-, Soedangras- en Sorghumgierst-soorten, met (geringe) verschillen in opbrengstpotentie. Miscanthus kan, naast verse oogst in het najaar voor methaanvergisting, ook in de winter droog geoogst worden en voor directe verbranding worden gebruikt. De gegevens over de warmteopbrengst bij directe verbranding uit Miscanthuspellets komen van LLFG Bernburg.

De suikergewassen energiebiet en aardpeer lenen zich, naast methaanvergisting, goed voor de winning van

ethanol. Via een vaste conversiecoëfficiënt is de suikeropbrengst omgerekend naar de ethanol-opbrengst. Van de oliezaadgewassen koolzaad, olievlas en deder zijn geen methaanopbrengsten (van het gehele gewas met of zonder zaad) bepaald. De vette oliën van de drie zaden bevatten ongetwijfeld specifieke vetzuren, lijnolie heeft technische toepassingsmogelijkheden en koolzaadolie is een gewaardeerde spijsolie. Na persen van de olie blijft er een eiwitrijk schroot met een zekere waarde voor de veevoedingsmarkt over. Hennep is een eenvoudig te telen snelgroeiend gewas met een aanzienlijke biomassaproductie. Het is niet duidelijk of het verse gewas zich leent voor methaanvergisting. Zo'n 20% van de stengel bestaat uit vezels, geschikt voor de textiel-, composiet- en papierindustrie. Het overige houtdeel kan worden gebruikt als stalstrooisel, maar het kan ook tot cellulose ethanol worden verwerkt of als grondstof voor directe verbranding worden benut. Tenslotte kan er van sommige hennepassen, onder de Nederlandse teeltomstandigheden (een beperkte hoeveelheid) zaad worden geproduceerd. De hieraan verbonden opbrengsten zijn niet verder onderzocht.

## 3.2 Voor Nederland 'nieuwe' biomassagewassen

### 3.2.1 Pennycress (*Thlapsi arvense* / Witte krodde)

Pennycress is bij ons bekend als het onkruid Witte krodde. In de zoektocht naar (non-food) biofuel gewassen is in de VS, bij USDA-ARS onderzoekslocaties in Maryland (Beltsville) en Illinois (Peoria), naast Camelina (deder) gekeken naar de mogelijkheden van het onkruid(gewas) Pennycress.

Net als dederolie blijft de zaadolie van Pennycress bij relatief lage temperaturen (-10°C) vloeibaar. Wel zijn beide oliën, vanwege hun hoge gehalte aan onverzadigde vetzuren, weinig stabiel, reactief en behoeven ze anti-oxidatieve toevoegingen. De perskoek (van beide oliezaaden) kan vanwege de hoge glycosinolaat-gehalten niet als veevoer worden gebruikt, maar laten zich middels pyrolyse met een grote efficiëntie omzetten tot stabiele, 2-de generatie, bio-brandstoffen/additieven.

In de VS is onderzoek gedaan naar kiemingsperiodiciteit en vernalisatie behoefte. Er zijn verschillende Pennycress herkomsten, met veel variatie gevonden. Pennycress lijkt het het best te doen in een winterteelt-systeem (zaai in september en oogst eind mei), hoewel een normale zomerteelt (met uitzaai in het voorjaar) ook mogelijk is. Als winterteelt zou het (als een low-input/low-yield gewas) als voor- en nateelt kunnen dienen. Overigens lijkt dit ook voor Camelina te gelden.

Ondanks de experimenten zijn er vanuit de VS weinig proefveldgegevens beschikbaar over de (zaad) opbrengsten van Pennycress. In kleinschalige praktijkteelten worden opbrengsten genoemd van 1700-2000 kg/ha zaad. Bij een gehalte van 35% olie zou dit resulteren in 600 L/ha olie.

De olie wordt (met 90% rendement) omgezet in biodiesel, en de perskoek kan via pyrolyse (met een opbrengst van 70%) tot 'biofuel' worden gemaakt. De totaal opbrengst zou dan bestaan uit 540 L/ha biodiesel en 770 L/ha pyrolyse olie.

Over de totale bio-gewasmassa zijn geen gegevens gevonden. Ook over methaan/vergistingsofbrengst van het totaalgewas of de reststroom (stro) valt niets te zeggen.

Pennycress, geteeld als wintergewas, zou een interessante bio-olie producent kunnen zijn.

### 3.2.2 Switchgrass (*Panicum virgatum* L / Prairiegras)

Switchgrass is een meerjarig grasgewas afkomstig uit warme en droge prairiegebieden van het middenwesten in de VS. Het is een diepwortelend grasgewas met C4 metabolisme, met een lange levensduur (10-15 jaar) en een goede droogtetolerantie. Het kan ter plaatse worden gezaaid, maar de individuele planten vormen in de loop der jaren grote pollen. Vanaf het derde jaar wordt de volledige gewas lengte (tot 3 m) en biomassa productie bereikt en de teelt is dan sterk vergelijkbaar met die van *Miscanthus*. Switchgrass is in de VS traditioneel, bij groene oogst in een vroeg stadium, een veevoeder /silage- gewas van de prairiegebieden. Volledig uitgegroeid en bij een eenmalige oogst in de winter, blijkt het echter een zeer productief biomassagewas dat zich leent voor cellulose-ethanol productie of directe verbranding (meestal na pelletering). In Amerika wordt Switchgrass gezien als het belangrijkste droogte-tolerante non-food gewas voor cellulose ethanol productie. Er wordt via GM-technieken gewerkt aan soorten met verlaagde (<26%) ligninegehalten, met daardoor hogere ethanol omzettings-rendementen.

Voor volgroeide gewassen, vanaf het derde jaar, rekent men in de VS met opbrengsten van 25-40 ton drogestof per ha. Uitgaande van 25 ton, en een cellulose/ethanol-conversiegraad van 38%, zou er uit

Switchgrass 9500 L/ha ethanol kunnen worden geproduceerd. Daarmee behaalt Switchgrass een aanzienlijk hogere ethanolopbrengst dan suikerbieten en maïs. De vraag is of deze opbrengst (aan biomassa en ethanol) onder onze (koelere) klimaatomstandigheden gehaald kunnen worden. In Duitsland (LLFG Bernburg) wordt het gewas beoordeeld op het perspectief voor directe verbranding van de gepelletiseerde biomassa in verwarmingsketels. De verbrandingswaarde is daarbij bepaald op 17831 J/g, ongeveer gelijkwaardig aan Miscanthus. Hiermee zou een equivalent van 5-8000 L/ha stookolie kunnen worden vervangen. Opmerkelijk is de beperkte slakvorming bij de verbranding, vanwege de geringe K, Cl, S en Na totaalgehalten in Switchgrass. Switchgrass lijkt, op de langere termijn/voor meerjarige productie, een interessant biomassagewas.

### 3.2.3 Big Bluestem (*Andropogon gerardii* / Baardgras)

Big Bluestem is evenals Switchgrass een meerjarig prairiegras met een C4 metabolisme. Het lijkt meer een grassoort te zijn die in verwilderde 'Conservation reserve' gebieden wordt aangeplant om erosie en landdegradatie te voorkomen. Anders dan Switchgrass is het geen gangbaar cultuurgewas voor voeder/silage-productie en het lijkt pas onlangs te zijn ontdekt als potentieel biomassagewas.

Big Bluestem kan ook ter plaatse worden gezaaid, en komt vanaf het derde jaar tot volledige biomassa productie. Als opbrengstgegevens worden getallen tussen 8 en 15 ton genoemd, met ethanolopbrengsten van 3-5700 L/ha. Bij LLFG Bernburg kan de drogestofproductie van Big Bluestem niet meekomen met die van Switchgrass. De verbrandingswaarden liggen op eenzelfde niveau.

### 3.2.4 Reed Canary Grass (*Phalaris arundinacea* / RCG)

Reed Canary Grass, veelal afgekort tot RCG, is een meerjarig C3 grasgewas uit de gematigde klimaatzone. Het komt voor in Europa, en kan zowel droogte als kou en langdurige vochtigheid verdragen. Het vroeg (in juni) geoogste jonge gewas kan als silagegewas dienen.

In Zweden en Finland wordt RCG geteeld (Finland >20.000 ha) en geoogst als product voor de verwerking (naast andere biomassa zoals graanstro) in zgn. 'cogeneration power plants' waarin door vergassing van het product elektriciteit en warmte wordt geproduceerd. Hiervoor wordt het gewas na de winter geoogst, wanneer het drogestofgehalte tussen de 10-20% ligt.

Naast het gebruik als energiegewas is het interessant dat de RCG stengels geschikt zijn voor de winning (10% van de drogestof) van korte vezels als grondstof voor de papierpulp industrie. In Scandinavië is hier onderzoek naar uitgevoerd en wordt het, als erkend non-wood papierpulpgewas, als zodanig benut. Van het complete gewas blijft 40%, ofwel zo'n 4 ton pulp/ha over. In hoeverre hierbij mogelijkheden zijn voor cascadering, ofwel benutting van pulp én energie uit reststromen, is onduidelijk. Bedacht moet worden dat de toegevoegde waarde van papierpulp t.o.v. energie waarschijnlijk gering is.

RCG kan ter plaatse worden gezaaid, heeft twee seizoenen nodig om tot volledige productie te komen, en kan 10-15 jaar productief blijven. Het gewas bereikt een lengte van 2 meter en de opbrengsten liggen rond de 10 ton drogestof per ha. De energieopbrengst bij directe verbranding ligt op 16200 J/g ds. Als gewas voor gematigde klimaatzones zijn de opbrengsten wat lager, maar vermoedelijk wel wat stabiel, dan van de C4 grassen Switchgrass en Big Bluestem.

Voor evaluatie onder Nederlandse omstandigheden, vanuit het oogpunt van teelt en mogelijke vezel/pulp-toepassing, lijkt het een interessant meerjarig biomassa gewas.

### 3.2.5 Igniscum (Japans knoopkruid)

Japans knoopkruid is in Nederland vooral bekend als een hardnekkig invasief onkruid wat zich vegetatief, middels wortelstokken, snel uitbreid. Eenmaal gevestigd als meerjarig gewas heeft het een spectaculair krachtige groei. Deze begint vroeg in het voorjaar en resulteert in de loop van het seizoen tot 3 meter hoge 'bamboeachtige' stengels die in de top bladrijke vertakkingen vormen. In de wintermaanden valt het blad en blijven de kale roodbruine stengels over, die in het vroege voorjaar met een hakselaar geoogst kunnen worden.

Gezien de spectaculaire groei heeft men het bij LLFG Bernburg (ondanks het onkruidachtige karakter van Igniscum) gewaagd om er een proefveldje van aan te planten om de biomassaproductie en toepassingsmogelijkheden te evalueren. Na een aantal jaren wordt er geconcludeerd dat Igniscum, qua opbrengst en gebruiksmogelijkheden, een sterke overeenkomst vertoont met Miscanthus.

Het gewas moet met wortelstekken worden uitgeplant. Vanaf het derde groeijaar worden opbrengsten van

20 ton drogestof gemeld. Na de winter is het gewas droog genoeg (>80% ds) voor pelletisering en directe verbranding in daarvoor geëigende verwarmingsketels. De verbrandingswaarde ligt met 18315 J/g op hetzelfde nivo als van *Miscanthus*, met de opbrengst van 1 ha zou een equivalent van 5-8000 L aan verwarmingsolie bespaard kunnen worden.

Hoogwaardiger toepassingen lijken er niet te zijn, al worden op lokale schaal *Igniscum* stengels gebruikt bij bloemschikwerk en schijnt het product voor dit doel ook in bloemenwinkels verkocht te worden. Vooralsnog kan hiervoor vanuit onkruidbestanden in de behoefte worden voorzien.

Japans knoepkruid is een interessant biomassa gewas, maar gezien het hardnekkige onkruidachtige karakter ervan ligt het niet voor de hand daarmee akkerbouwmatig aan de gang te gaan.

### 3.2.6 Durchwachsende Silphie (*Silphium perfoliatum*)

Silphie is een meerjarige plant uit de composieten familie. Oorsprongsgebied is de gematigde klimaatzone in het oosten van Noord-Amerika. De plant is echter in de Sovjetunie en de voormalige DDR, eerst als veevoeder/silagegewas, en de laatste jaren als coferment voor methaanvergisting, ontwikkeld. In deze landen zijn dan ook verbeterde selecties ontwikkeld. Vanwege de vorming van een diep wortelstel doet de plant het goed onder warme en droge weersomstandigheden. De zaadwinning van het gewas is lastig (kostbaar) en de kieming vereist een specifieke zaadbehandeling, waardoor de voorkeur wordt gegeven aan uitplant van voorgekweekte plantjes i.p.v. inzaai ter plaatse. In 2009 werd, met plantmateriaal betrokken uit Duitsland, i.k.v. Energiekompas in Valthermond een proefveldje met Silphie ingeplant.

Pas het tweede jaar na uitplant (plantverband van 50x50) wordt een volledige biomassa bereikt. Het bestand blijft 10-15 jaar productief. Het gewas bereikt een gewashoogte van 2-3 meter en staat vanaf juli tot september met gele bloemen in bloei. Het gewas wordt in oktober, bij een drogestofgehalte van ca. 28%, gehakseld en ingekuild voor silage of als coferment voor biogaswinning. De opbrengsten liggen rond 20 ton ds/ha. Vanuit Duitsland worden methaangasopbrengsten van 6-7000 m<sup>3</sup>/ha gerapporteerd. Daarmee kan het goed meekomen met energiemais. Vanwege de bloei en het meerjarig karakter heeft het gewas landschappelijke en economische voordelen. De resultaten van het proefveld in Valthermond moeten uitzicht bieden op de productieperspectieven van Silphie onder Nederlandse omstandigheden.

### 3.2.7 Russische paardenbloem (*Taraxacum T.kok-saghyz*)

De Russische paardenbloem heeft vanuit de stuurgroep Energieboerderij aandacht gekregen vanwege het feit dat uit de wortels van dit gewas een natuurlijke latex wordt gewonnen als alternatief voor natuurrubber uit de Rubberboom (*Hevea brasiliensis*). In de VS (Penra-project, Ohio State University) en de EU (EU-Pearls project, waarin WUR-Food & Biobased een coördinerende rol speelt) zijn projecten gestart waarin vooral gewerkt wordt aan het verbeteren van het uitgangsmateriaal, de winning en verwerking van de latex en het opwerking naar rubber. Het duurt nog wel even voordat dit gewas op grote schaal is geteeld zal gaan worden en da vraag is ook of dat in Nederland zal zijn. Het is niet echt een biomassa gewas. In hoeverre er cascaderingsmogelijkheden zijn is niet duidelijk, al kunnen reststromen mogelijk gebruikt worden voor inulinewinning of eindigen in de biovergisting/methaangas-productie. Hierover zijn geen kentallen bekend. Er zal in 2011 waarschijnlijk geen zaaizaad beschikbaar komen voor een veldproef binnen Energieboerderij.

### 3.2.8 Russische Smeerwortel (*Symphytum peregrinum*)

Deze Russische smeerwortel soort wordt door James Duke, van Purdue University, als hoogopbrengend biomassa gewas beschreven. Het kruidachtige gewas stamt uit Azië (Kaukasus, Iran), maar kan feitelijk overal groeien. Voor een goede productie is een goede vochtvoorziening noodzakelijk. Na uitplant middels wortelstokken is het een moeilijk uitroeibaar meerjarig onkruid met een indrukwekkend wortelstelsel en, gedurende het seizoen, voortdurende bovengrondse bladproductie. Er zijn 3-4 bladoogsten per jaar mogelijk, van een meter hoog bovengronds gewas. Ondanks een laag drogestofgehalte (10-15%) zouden hiermee opbrengsten te bereiken zijn van 10-15 ton/ha drogestof. In Oregon is er een bedrijf die uit Smeerwortel blad alcohol produceert (4000 L/ha), waarbij een eiwitrijk restproduct overblijft. Het betreft opgaves vanuit één literatuurbron.

De vergelijkbare 'gewone' Smeerwortel (*Symphytum officinalis*) is niet zozeer als biomassa gewas, maar als traditioneel kruidengewas bekend. Het gebruik van de plant (o.a. tegen huidproblemen en reuma) is in onbruik geraakt vanwege de aanwezigheid van carcinogene inhoudstoffen en levertoxines (pyrolizidine alkaloiden). Het is een hardnekkig onkruid, wat teelt op akkerbouwpercelen in de weg staat.

### 3.2.9 Ridderzuring (*Rumex acetosa*)

Een (met smeewortel) vergelijkbaar onkruid met mogelijke biomassa potentie is ridderzuring. Dit meerjarige gewas is bij LLFG in Bernburg in de biomassa gewasvergelijking meegenomen. In het tweede jaar na zaai kan de ridderzuring reeds tweemaal worden geoogst. Het gewas heeft silage (veevoeder) waarde maar leent zich ook als co-vergistingsproduct. De biomassaopbrengsten bedragen rond 7 ton/ha droge-stof, waarmee 3000 m<sup>3</sup>/ha methaangas geproduceerd kan worden. Uit de eerste ervaringen bleek dat het opbrengstniveau van ridderzuring na het tweede oogstjaar, vanwege insectenvraat en schimmel-aantasting (*Verticillium*), sterk terugviel.

Ridderzuring vormt een indrukwekkend wortelstelsel (enigszins vertakte penwortels). Wellicht loont het, al was het maar vanuit een oogpunt van onkruidbestrijding, om bij beëindiging van een teelt deze wortels te rooien en voor vergisting te benutten. Gezien het sterk onkruidachtige karakter van Ridderzuring ligt teeltintroductie op akkerbouwpercelen niet voor de hand.

### 3.2.10 Milkweed (*Asclepias syriaca*)

Milkweed, een hardnekkig meerjarig onkruid dat volop in het wild voorkomt in het (centraal en oostelijke) Noorden van de Verenigde Staten, heeft de laatste decennia belangstelling gekregen als multifunctioneel gewas. Omdat het gehele gewas (stengels en bladeren) een latex achtig melksap bevat (met tot 1% olie + polyfenolen) was er in eerste instantie belangstelling voor benutting van de gehele biomassa voor olieconversie. Aan het eind van de zeventiger jaren begon het bedrijf 'Standard Oil of Ohio' met proefnemingen. Milkweed werd daarvoor in een vegetatief stadium, tot tweemaal per seizoen, geoogst. Uiteindelijk bleek de oliewinning uit deze biomassa technisch en economisch niet perspectiefvol. De opbrengsten waren te laag.

Vervolgens richtte men zich, binnen het bedrijf National Fibers Corp in Ogallala (Ne), op de winning en toepassing van de het als vezelproduct te benutten zaadpluis en de oliehoudende zaden.

Hiertoe werd, ondersteund vanuit de Staat Nebraska, USDA en Universiteit, teeltonderzoek gestart.

Omdat het zaad lastig kiemt (kiemrust moet doorbroken worden) ligt opkweek van planten en het uitplanten daarvan voor de hand. Na uitplant verspreidt de plant zich via wortelstokken en kan een dicht bestand gevormd worden. Vanaf het tweede seizoen vormen de spruiten stengels met een lengte van 120-200 cm. De plant vertoont een uitbundige bloei met in dichte clusters gevormde roze bloempjes waardoor aan het eind van het seizoen (gedragen door samengestelde bloembodems) het zaad en zaadpluis wordt gevormd. Dit zaadpluis met een lage dichtheid bestaat uit korte (<2cm) cellulose-vezels en kan, al of niet gemengd met katoen, als 'non-woven' vulling in kleding en kussens worden toegepast. Het zou vergelijkbaar zijn met verendons. Voor specifieke toepassingen is er voor 'milkweed floss' een markt, maar de prijs is niet bijzonder hoog.

Het milkweed zaad bevat 20-25% olie met meer dan 90% onverzadigde vetzuren waarvan 50% linoleenzuur en 35% oliezuur (C18-vetzuren). De olie is zeer reactief (gevoelig voor oxidatie) maar kan door esterificatie tot een (ook bij lage temperaturen) goede biodiesel worden omgevormd. De olie zou zich ook lenen voor de verwerking in cosmetica en zeep producten.

Het zaadmeel (na extractie) bevat een mooie hoeveelheid eiwit (tot 50%!) maar vanwege de aanwezige cardenolides kan het moeilijk (zonder nabehandelingen) in het veevoer worden verwerkt. Opmerkelijke vondst (op proefveldbasis) is dat het zaadmeel, wanneer ingewerkt in de bodem, een sterke nematicide werking (o.a. tegen aardappelcystenaaltjes) heeft laten zien.

De opbrengst aan Milkweed zaadpluis vezels ligt op ±1300 kg/ha. De zaadopbrengst van Milkweed is met ±1100 kg/ha aan de lage kant. De mechanisatie voor pluis- en zaadoogst lijkt nog niet te zijn 'uitontwikkeld', maar zal naar analogie van die in de katoenteelt moeten plaatsvinden.

Wat opvalt bij Milkweed is dat er veel toepassingsmogelijkheden worden geschetst. In die zin lijkt het een biomassagewas wat op vele wijzen kan worden 'versneden' en 'gecascadeerd'.

Zo zijn er bv. ook nog meldingen over 10% bastvezels uit de stengel (die overigens van matige kwaliteit zijn) en over het gebruik van de latex in stengel en bladeren als rubberproduct.

Ondanks alle pogingen, vanuit bedrijfsleven en onderzoek, lijken er m.b.t. Milkweed géén daadwerkelijke doorbraken te zijn in de vorm van een commercieel haalbare akkerbouwmatige productie van één van de gewasonderdelen. Het ligt niet voor de hand om het gewas als 'noxious' weed in Nederland te introduceren.

### 3.2.11 Mariadistel (*Sylibum marianum*)

Mariadistel is een eenjarig traditioneel medicinaal kruidengewas waarvan het zwart-glimmende zaad verwerkt wordt tot fytotherapeutische preparaten met een versterkende (ontgiftende) werking op lever en gal. Verantwoordelijk voor deze activiteit zijn de flavonoiden silibinine en silymarine die daarvoor, na de olie extractie, uit het overgebleven zaadmeel geïsoleerd worden. De 20-25% vette olie uit het zaad (met een hoog vitamine-E gehalte) vormt in zekere zin een bijproduct van de silymarine/silibinine productie. Er zijn door de farmaceutische industrie, met name door de Duitse firma Madaus, mariadistelselecties ontwikkeld met een specifiek flavonoid spectrum, die geïsoleerd op contract worden geteeld. Deze zaadpartijen worden apart verwerkt. De verschillende flavonoid-extracten worden uiteindelijk in een specifieke verhouding tot fytopreparaten verwerkt. Deze contractteelt voor de Duitse farmaceutische industrie is geheel en al afgedekt.

Mariadistel is een redelijk snelgroeiend gewas wat uiteindelijk (vanwege de scherpe, stevige stekels aan blad en stengels) een ondoordringbaar gewas van rond 2 meter hoogte vormt.

Mariadistel vormt grote distelknoppen waarin het zaad gevormd wordt en (in augustus/september) moet afrijpen. Onder de relatief vochtige Nederlandse klimaatomstandigheden verloopt de zaadrijping vaak lastig, en kunnen de bloembodemds gaan schimmelen. De opbrengsten vallen dan tegen en de oogst (het dorsen) verloopt ook vaak moeilijk. In de tachtiger jaren heeft er in Nederland (via VNK) contractteelt van mariadistel plaatsgehad, maar deze is vanwege de te geringe zaadopbrengsten (1000-1500 kg/ha) en te lage inhoudstofgehaltes verdwenen.

Mariadistel zou zich kunnen lenen als biomassagewas, waarbij de zaadolie als biodiesel of mogelijk als voedingssupplementolie en het totaalgewas (of de reststromen) voor co-vergisting geoogst kunnen worden. Het is onduidelijk hoe groot de gevormde gewasmassa is. Waarschijnlijk is het drogestofgehalte (te) laag. Over een potentiële methaanopbrengst is niets bekend.

Zonder een afnamecontract voor het zaad, en de beschikking over de juiste zaadselecties, ligt het niet voor de hand om in Nederland mariadistel te gaan telen.

### 3.2.12 Afrikaantjes (*Tagetes* spp.)

Het gewas *Tagetes* is vanuit de stuurgroep Energieboerderij ingebracht vanuit de gedachte dat hiermee de bekende nematicide werking bij teelt van dit gewas (tegen het vrijlevende aaltje *Pratylenchus penetrans*), gecombineerd zou kunnen worden met de winning van interessante inhoudstoffen of met de productie van co-ferment voor methaanvergisting. Bedacht moet worden dat alleen de specifieke soort *Tagetes patula* de Pp-aaltjes effectief bestrijdt, terwijl deze *Tagetes*soort nou niet bepaald als hoog-opbrengend biomassagewas beschouwd kan worden. En als het gaat om de winning van de kleurstoffen luteïne en zeaxanthine vanuit de bloemen is het ook maar zeer de vraag of de soort *Tagetes patula* hiervoor de meest geschikte kandidaat is. In de behoefte aan deze stoffen wordt voorzien vanuit contractteelt, veelal in Afrikaanse landen, voor extractiefirma's, (o.a. in Zambia, Zimbabwe, Tanzania), van specifiek op bloemproductie en inhoudstofgehalte veredelde *Tagetes*/Marigold soorten. De bloemen hiervan worden gedurende het groeiseizoen doorlopend handmatig(!) geplukt en ter plekke geëxtraheerd.

Overigens bestaat er wel een andere *Tagetes* soort die zich, onder Nederlandse klimaatomstandigheden, uitstekend leent voor biomassaproductie. Dit betreft de *Tagetes minuta*. Deze soort vormt in één seizoen een met hennep vergelijkbaar gewas, met stevige stengels van 3 meter lengte met weinig blad en zonder bloei. In 2008 is met de teelt van *Tagetes minuta*, op semi-praktijkschaal bij PPO in Lelystad, een productie van maar liefst 53,4 ton/ha verse gewasmassa gerealiseerd. Bij een drogestofgehalte van 18,5% kwam dit neer op een drogestofopbrengst van 9,9 ton/ha. De methaangasopbrengst kwam uit op 2206 m<sup>3</sup> per hectare. *Tagetes minuta* heeft géén nematicide werking op *Pratylenchus penetrans*, en zou wellicht zelfs specifieke vrijlevende aaltjes kunnen vermeerderen. Het perspectief van *Tagetes* als biomassagewas, én als leverancier van interessante inhoudstoffen, is discutabel.

### 3.2.13 Samenvattende tabel

In tabel 3 zijn de belangrijkste opbrengstgegevens van de in Nederland minder bekende biomassagewassen samengevat. Het gaat dan voornamelijk om de energieopbrengst, uit methaangas, pure plantaardige olie/PPO, pyrolyse-olie, (cellulose)ethanol, of warmte door directe verbranding.

De mogelijke opbrengsten aan hoogwaardiger (inhoud)stoffen die gewonnen kunnen worden (evt. in een proces van cascadering) is moeilijk te geven. Over de fysieke opbrengsten van de latex opbrengst uit

paardenbloem en de mariadistelzaad- en Tagetesbloemen-extracten valt weinig te zeggen. Van de opbrengst aan Milkweed flos (zaadpluis) is een inschatting gegeven.

Tabel 3. **Samenvattend overzicht potentiële opbrengsten van in Nederland min-of-meer onbekende biomassagewassen.**

	Teelt- Wijze	Biomassa Ds T/ha	Methaan- gasopbr. m <sup>3</sup> /ha	Zaad opbr. kg/ha	Olieopbr PPO	Ethanol- opbr.L/ha	Directe verbr. warmte J/g
Pennycress	Zaai Eenj.		?	1800	540	770 pyrolyseolie	
Swichgrass	Zaai Meerj.	25				9500	17800 ~ 5-8000Lolie/ha
Big Buestem	Zaai Meerj.	12				4300	17000
Reed Canary Grass	Zaai Meerj.	10 4 T papierpulp					16200 'bijstook-biomassa'
Igniscum	Plant Meerj.	20					18300 ~ 5-8000Lolie/ha
Durchwaxsende Silphie	Plant Meerj.	20	6500				
Russische paardenbloem	Zaai Eenj.						
Russische smeerwortel	Plant Meerj.	10				4000	
Ridderzuring	Zaai Meerj.	7	3000				
Milkweed	Plant Meerj.	vezelpluis 1300kg/ha		1100	220		
Mariadistel	Zaai Eenj.			1250	250		
Afrikaantjes	Zaai Eenj.	10	2200				





## 4 Overwegingen bij de gewaskeuze voor een demoteelt

Van het merendeel van de gewassen is de teeltmethodiek, de opbrengst- en verwerkings-potentie (bij benadering ook onder de Nederlandse omstandigheden) in kaart te brengen. Bij de keuze tot zaai/aanplant moet overwogen worden dat het ook een aantal meerjarige teelten betreft, waarvan de opbrengst- en gebruikspotentie pas goed tot uiting komt vanaf het tweede tot derde groeiseizoen.

Biomassa voor energieproductie moet, in het kader van de energiebalans, eigenlijk zo min mogelijk getransporteerd worden. Het is dan ook van belang om het perspectief van daadwerkelijke regionale toepassing van het oogstproduct in te schatten, op de geschiktheid waarvan het gewas/monster-materiaal vervolgens moet worden getoetst. De hiervoor benodigde analysemethodiek dient voorhanden te zijn. Mogelijkheden voor vergisting/biogasproductie en PPO/biodieselproductie zijn in de regio Vredepeel aanwezig. Maar installaties en kennis over de techniek van bioethanol-productie uit suikers/zetmeel (fermentatie/destillatie) of vanuit cellulose (via een 'krakings'-stap) is in de regio (nog) niet aanwezig. Net zomin als dat er mogelijkheden en concrete belangstelling lijkt te bestaan voor de afzet van biomassa voor kleinschalige biomassa/pellet-verbrandingsketels voor verwarming van kippen/varkensstallen of gebouwencomplexen.

Ook over de regionale potentie voor toepassing van biomassa in constructiematerialen en vezels (isolatieplaten, papierpulp of biocomposieten) is onvoldoende bekend.

De grasgewassen en de drie (wortel)onkruiden kunnen mogelijk (deels ook met als doel om de oogsttijd te manipuleren) in silagevorm aan veebedrijven worden afgezet.

De winning van latex uit paardenbloemwortel is een specialistische techniek die in Nederland nog niet op praktijkschaal plaatsvindt. Hetzelfde geldt voor de extractie van de bioactieve inhoudstoffen van mariadistelzaad en Tagetesbloemen.

Ook moet er kunnen worden beschikt over de juiste herkomsten, of liefst verbeterde selecties, van de betreffende gewassen.

Tenslotte moet rekening gehouden worden met het risico van mogelijke veronkruiding door een aantal van de genoemde potentiële gewassen. Bij de wortelonkruiden smeewortel, ridderzuring, Milkweed en Japans knooppkruid, en het zaadonkruid witte-kroddie is deze kans uitermate evident.



## 5 Suggestie voor de gewaskeuze

- Van de min-of-meer bekende biomassagewassen worden energiemais en (energie)suikerbiet al binnen het project energieboerderij op Vredepeel geteeld. Ook de productie van de oliezaden koolzaad en deder wordt daarbij meegenomen.
- Vanuit Energiekompas/PPO-Valthermond, waar ook de eenjarige co-vergistingsgewassen Soedangras, Sorgumgierst en aardpeer werden geëvalueerd, kan de meerjarige potentie van Durchwachsende Silphie, als co-vergistingsgewas voor methaangas-productie, gevolgd worden. Toch is het wellicht een idee om de gewassen Silphie en Sorgumgierst in een demo op Vredepeel uit te planten.
- Van de meerjarige grasgewassen Miscanthus, Switchgrass, Big Bluestem en Reed Canary Grass (RCG) zijn Switchgrass en RCG het meest interessant om te beproeven. Switchgrass omdat dit in de US wordt beschouwd als het meest productieve (en perspectiefvolle) cellulose ethanolgewas. Het is interessant te bekijken hoe dit droogtetolerante C4-prairiegras onder onze klimaatomstandigheden presteert. Ook voor directe verbranding is de drogestof van dit gewas zeer geschikt.
- Reed Canary Grass is in de Noord Europese klimaatzone beproefd. Het is een koude- en vochttolerant C3-gewas wat naast cellulose ethanolproductie ook voor papierpulpwinning kan worden benut.
- Ondanks de imposante biomassapotentie en interessante toepassingsmogelijkheid voor directe verbranding, is Japans knoopkruid/Igniscum voor teeltintroductie een te risicovol en invasief onkruid.
- Als oliegewas is het gedurende de winter te telen onkruid witte krodde (Pennycress) wellicht interessant. Het zorgt voor winterbedekking van de bodem en na een vroege zaadoogst kan evt. een ander oliezaad-gewas, zoals deder of olievlas, worden geteeld. Hierdoor lijkt op (kalender-)jaarbasis een redelijke olieopbrengst te kunnen worden bereikt. Wel moet serieus op de kans op veronkruiding worden gewezen, en moet verbeterd zaadmateriaal uit de VS betrokken worden.
- Het gewas Milkweed heeft veel interessante aspecten, maar het is ook een invasief wortelonkruid en in de VS heeft het, ondanks alle onderzoeksprojecten, nog niet tot een concrete productie/teelt geleid. Bovendien ontbreekt het aan oogstmechanisatie en verwerkingstechnieken voor de oogst van bloemknoppen en de opwerking van zaad en zaadpluis. De gewasopbrengsten lijken niet bijzonder hoog.
- Er lijken geen concrete mogelijkheden voor de gesuggereerde gewassen paardenbloem, Tagetes en mariadistel om daaruit, vóór evt. biomassaverwerking van reststromen, hoogwaardiger inhoudstoffen te winnen. Simpelweg omdat hiervoor geen plantmateriaal/zaaizaad beschikbaar is en/of geen verwerkings- en/of afzetcontracten te krijgen zijn.
- Smeerwortel en ridderzuring zijn hardnekkige onkruiden en hebben als kruidgewassen een laag drogestofgehalte. De methaanopbrengsten zijn gering. De methode om uit smeerwortel ethanol te winnen (zoals een literatuuroopgaaf uit Oregon) is hier niet bekend. Toepassing als veevoeder/silagegewas ligt niet voor de hand.

Als er binnen 'Energieboerderij' een meerjarig demo proefperceel en meerjarige uitvoeringsmiddelen (voor een deugdelijke gewasverzorging, monsteroogst en monsteranalyse) beschikbaar zijn, lenen zich, naast **suikerbiet, energiemais, deder** en **koolzaad**, de meerjarige energiegewassen **switchgrass** en **reed canary grass** voor beproeving. Het zou interessant zijn (als voortzetting vanuit Energiekompas) **sorghumgierst** en **durchwachsende silphy** voor uitzaai/uitplant in een demo op Vredepeel mee te nemen. Als olie (zaad) gewas, met name voor beproeving als wintergewas en in combinatie met een oliegewas voor zomerteelt, lijkt **witte krodde** interessant.

Binnen de stuurgroep Energieboerderij wordt over de uiteindelijke keuze van de te beproeven gewassen besloten.



## 6 Literatuur

### Algemeen

- Wijnholds et al., Energiekompas voor de Veenkoloniën, Eindrapport onderzoek 2007-2009, PPO verslag nr. 3250081900.
- Summeren, Tim van, Projectstage PPO-Vredepeel, Stageverslag HAS Den Bosch, 2010.
- [www.nrel.gov/lab/pao/biomass](http://www.nrel.gov/lab/pao/biomass) Biomass Energy, Converting biomass into usefull energy.
- Documentatie Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG) Bernburg, Sachsen-Anhalt;
  - Versuchstechnische Daten Versuchsfeld: 'Anbauoptimierung verschiedener Energiepflanzenarten zur Biomasseproduktion'.
  - Erträge ein- und mehrjähriger Energiepflanzen 2008-2010.
  - Biogasausbeute und Methanertrag 2008-2010.
  - Monographien ein- und mehrjähriger Energiepflanzen.
- Propheter, J.L. et al. Performance of Annual and Perennial Biofuel Crops: Yield during the First Two Years. Agronomy Journal, Volume 102, Issue 2, 2010.

### Gewasgericht

#### Pennycress

- Boateng A.A., C.A. Mullen and N.M. Goldberg. Producing Stable Pyrolysis Liquids from the Oil-Seed Presscackes of Mustard Family Plants: Pennycress (*Thlapsi arvense* L.) and Camelina (*Camelina sativa*), Energy Fuels 2010, 24, 6624-6632.
- Hazebroek, Jan P. and James D. Metzger. Seasonal pattern of Seedling Emergence, Survival and Reproductive Bahaviour in *Thlapsi arvense* (Cruciferae).
- [www.biodieselmagazine.com/articles](http://www.biodieselmagazine.com/articles) Making-pennycress-pay-off.
- [www.ars.usda.gov/is/AR/archive/Nov10/biodiesel1110.htm](http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/Nov10/biodiesel1110.htm) In Peoria, a Brisk Business in Biodiesel Research.

#### Switchgrass

- [www.noble.org/Research/Biofuels/index.html](http://www.noble.org/Research/Biofuels/index.html) Research updates: 'Switchgrass proves to be a valuable source of energy' en 'Growing the Future of Energy'.
- [www.pnas.org/content/105/2/464.full](http://www.pnas.org/content/105/2/464.full) M.R.Schmer et al., Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass.
- [www.news.mongabay.com/2008/0107-switchgrass.html](http://www.news.mongabay.com/2008/0107-switchgrass.html) 'Switchgrass a better biofuel source than corn' Cornell University Cooperative Extension; 'Management of Grasses for Biofuel'.

#### Big Bluestem en Reed Canary grass

- Jefferson, Paul G. et al. Potential utilization of native prairie grasses from western Canada as ethanol feedstock, Can.J.Plant Sci 84:1067-1075.
- [www.eubia.org/193.0.html](http://www.eubia.org/193.0.html) European Biomass Industry Association: Other energy crops.
- [www.tsec-biosys.ac.uk](http://www.tsec-biosys.ac.uk) TSEC-Biosys: Plant Crops Bioenergy Research UK.
- [www.diss-epsilon.slu.se:8080/archive](http://www.diss-epsilon.slu.se:8080/archive) Michael Finell, The use of reed canary-grass (*Phalaris arundinacea*) as a short fibre raw material for the pulp and paper industry, Doctoral thesis, 2003.
- Sampo Soimakallio et al., Assessing the sustainability of liquid biofuels from evolving technologies, A Finnish approach, VTT Research Notes 2482, blz. 60, 78, 79, Appendix B.
- Rolf Olsson, Reed Canarygrass Development in Sweden, gepubliceerd i.k.v. EU-AIR programma.
- [www.ienica.net/crops/reedcanarygrass.htm](http://www.ienica.net/crops/reedcanarygrass.htm) Monografie: Reed Canary Grass.

#### Igniscum

- [www.innotec-home.de/html/igniscum.html](http://www.innotec-home.de/html/igniscum.html).

#### Russische paardenbloem

- [www.kennisonline.wur.nl](http://www.kennisonline.wur.nl) Kennisbasis Biobased economy, 'Paardenbloem voor Europees rubber'.

- [www.oardc.osu.edu/penra/](http://www.oardc.osu.edu/penra/) The Penra Story, 'The shortage of Natural Rubber'.

#### **Russische smeerwortel**

- [www.hort.purdue.edu/newcrop/duke](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke) Monografie: *Symphytum peregrinum* Ledeb.

#### **Milkweed**

- Campbell, T.A., Chemical and Agronomic Evaluation of Common Milkweed, *Asclepias syriaca*, Economic Botany, 37(2), 1983, pp.174-180.
- Winthrop B. Phippen, Production Variables Affecting Follicle and Biomass Development in Common Milkweed, Issues in new crops and new uses, 2007.
- [www.hort.purdue.edu/newcrop/duke](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke) Monografie: *Asclepias syriaca* L.
- [www.science-in-farming.library4farming.org](http://www.science-in-farming.library4farming.org) Herbert D. Knudsen, Milkweed: The Worth of a Weed.
- [www.ars.usda.gov/is/](http://www.ars.usda.gov/is/) Linda McGraw, New Uses for Milkweed.
- [www.highbeam.com/doc](http://www.highbeam.com/doc) Narendra Reddy et al., Extraction and characterization of natural cellulose fibers from common milkweed stems. Polymer Engineering and Science, Nov 2009.

#### **Tagetes**

- Mheen, Hans v.d., et al, Pilot etherische oliehoudende gewassen, Acrres rapport: AC2009/02.